

Ensayos de rocas

INTRODUCCIÓN

Según la "Comisión sobre mecánica de las rocas, Academia Nacional de Ciencias", la mecánica de las rocas es una ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento físico de las rocas sometidas a condiciones de esfuerzo de diversos orígenes. En términos generales, la mecánica de las rocas abarca el estudio de las obras subterráneas, como los túneles, y la construcción en superficie, como las canteras a cielo abierto o las cimentaciones de presas.

Cuando en el laboratorio se somete una muestra de roca a condiciones de esfuerzo definidas, el diagrama de tensión-deformación puede mostrar comportamientos de no linealidad también para deformaciones muy pequeñas, histéresis, anisotropía, condiciones de fluencia, etc. Todos estos fenómenos pueden describirse matemáticamente.

Índice

Muestreo de la roca/ Preparación de la muestra

Picos para roca / Cortadora de testigos

PICOS PARA ROCA

Utilizados para la identificación preliminar de la roca.

■ **45-D1710**

Pico para roca de extremo puntiagudo
Totalmente pulido, mango de piel.

Peso aproximado: 650 g

■ **45-D1711**

Pico para roca con borde de cincel
Totalmente pulido, mango de vinilo de nailon.

Peso aproximado: 550 g

■ **45-D0529**

Juego de escala de dureza de Mohs.



45-D1710, 45-D1711



45-D0529

CORTADORA DE TESTIGOS Y ESMERILADORA

■ **45-D0536**

Cortadora de testigos de laboratorio y esmeriladora, con entrada de agua. 230 V, 50 Hz, monofásico.

■ **45-D0536/Z**

Igual que la anterior, pero a 110 V, 60 Hz, monofásica.

■ **45-D0536/Y**

Igual que la anterior, pero a 220 V, 60 Hz, monofásica.

NORMAS
ASTM D4543

Descripción general y especificaciones

Se utiliza para obtener muestras de rocas perfectamente maquinadas (cubos, prismas, etc.) a partir de rocas o trozos de testigos irregulares. Se suministra con una mordaza adecuada para sujetar firmemente fragmentos irregulares de hasta 70 x 140 mm aproximadamente. Para cortar testigos de dimensiones hasta 75 mm de diámetro x 140 mm de altura se utiliza otra mordaza en "V". Pueden obtenerse testigos más grandes dando la vuelta a las muestras en la mordaza. Se suministra con entrada de agua de enfriamiento. La muela esmeriladora y la bomba de agua deberán solicitarse por separado.

Potencia: 1100 W

Velocidad de corte: 3000 r.p.m.

Dimensiones: 730x1050x590 mm

Peso aproximado: 100 kg

- Se utiliza tanto para recortar como para pulir
- Sirve para obtener muestras cúbicas a partir de piezas irregulares
- Cubierta de protección transparente según las directivas CE



45-D0536 con 45-D0536/4

Accesorios para 45-D0536 máquina cortadora de testigos y esmeriladora

◤ **45-D0536/1**
Bomba de enfriamiento por recirculación con depósito. 230 V, 50 Hz, monofásico.

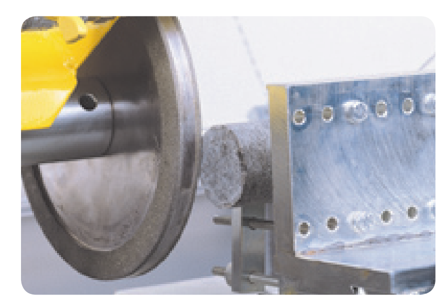
◤ **45-D0536/1Z**
Igual pero a 110 V, 60 Hz, 1F.

◤ **45-D0536/1Y**
Igual, pero a 220 V, 60 Hz, 1F.

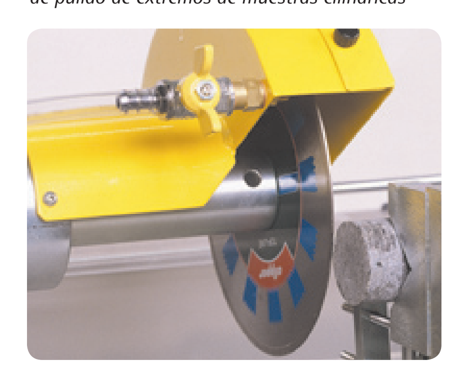
◤ **45-D0536/2**
Disco de corte diamantado. 230 mm de diámetro x 2,5 mm de espesor. Área máxima de corte: 110 x 70 mm.

◤ **45-D0536/3**
Disco de esmerilado diamantado de dos caras. 205 mm de diámetro x 16 mm de espesor. Se utiliza para efectuar el acabado de los extremos de la muestra en paralelo y en ángulo recto respecto al eje

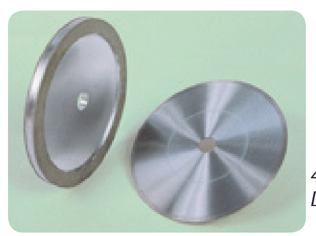
◤ **45-D0536/4**
Dispositivo de sujeción para piezas irregulares con dimensiones máximas de 57 x 104 x 102 mm (longitud) y testigos de 15 a 60 mm de diámetro.



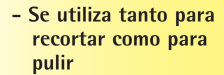
Detalle de 45-D0536 con disco de esmerilado diamantado de dos caras durante una operación de pulido de extremos de muestras cilíndricas



Detalle de una máquina 45-D0536 con disco de corte 45-d0536/2 durante el funcionamiento



45-D0536/3, D0536/2



Muestreo de la roca/ Preparación de la muestra

Sierras de corte/ Máquinas de extracción de testigos

SIERRAS DE CORTE

45-C0210/C

Sierra de corte y albañilería. 380 V, 50 Hz, trifásica.

45-C0210/CZ

Igual que el anterior, a 220 V, 60 Hz, trifásica.

Descripción general y especificaciones

Especialmente diseñada para cortar rocas o testigos. Se suministra con un dispositivo especial para sujetar firmemente muestras irregulares durante la operación. Acepta hojas de hasta 450 mm de Ø. Se suministra con bastidor de soporte, bomba de agua y una abrazadera cilíndrica con forma de "V". El disco de corte debe solicitarse por separado (ver accesorios).
Profundidad de corte (mm): Disco de corte de 115 mm con 350 mm de Ø y un disco de corte de 165 mm de Ø. Con disco de corte de 450 mm de Ø.

Potencia: 2250 W

Dimensiones: con la base, 1200x800x1400 mm

Peso aproximad.: 125 kg

Accesorios

45-C0211/4
Disco diamantado de 350 mm para las muestras de roca

45-D1717
Gafas de protección transparentes



45-C0210/C con 45-C0211/4

MÁQUINAS Y TALADROS SACATESTIGOS

45-C0330

Máquina para extracción de testigos de laboratorio, 2 velocidades, con entrada de agua. 230 V, 50-60 Hz, monofásico.

45-C0330/Z

Same as above but 110 V, 60 Hz, 1 ph.

Descripción general y especificaciones

Esta máquina se utiliza específicamente en el laboratorio para obtener testigos de materiales duros como roca y hormigón. Se proporciona un dispositivo para sujetar el material durante el ciclo de corte. También existe una herramienta especial (ver accesorios) para preparar muestras de roca a partir de trozos de testigos. Taladros sacatestigos no incluidos. Véase accesorios.

Unidad de potencia: 1800 W

Velocidad de extracción: 1485/2720 r.p.m.

Escala de extracción: muestra de 8 a 60 mm

Dimensiones del conjunto de bandeja base: 450x450x300 mm aproximadamente.

Peso aproximado: 80 kg

Accesorios

45-C0331
Dispositivo de sujeción para núcleos de 100 mm de diámetro máximo con protección transparente

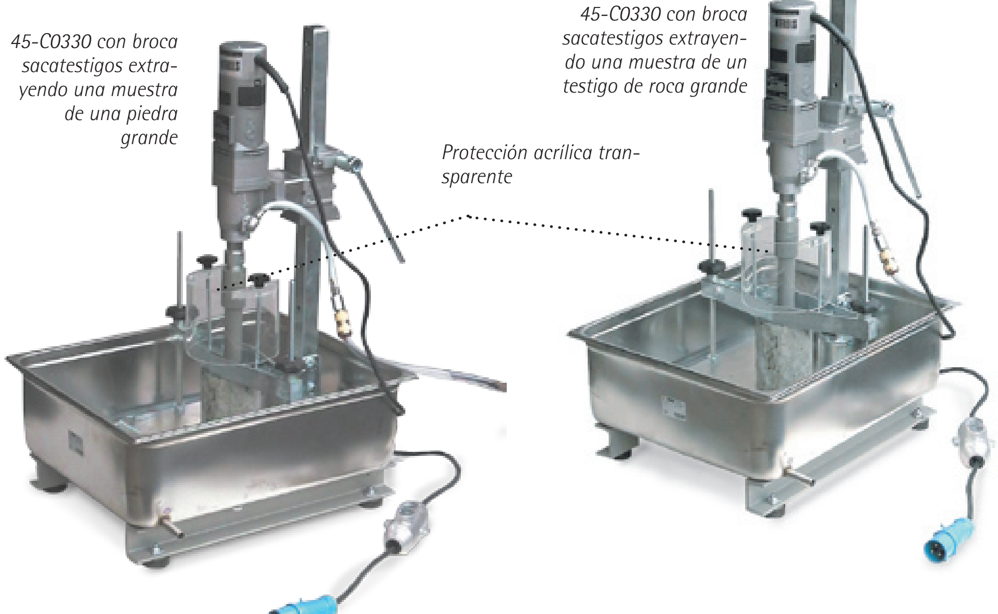
45-C0343 to 45-C0346
Brocas y adaptadores

Modelos de taladros sacatestigos

Código	D.C.D.M.A.	∅ de la muestra mm	inches
45-C0343	AX	30.10	1.185
45-C0344	1.5 in.	38.10	1.500
45-C0345	BX	42.04	1.655
45-C0346	NX	54.74	2.155



45-C0331



45-C0330 con broca sacatestigos extrayendo una muestra de una piedra grande

45-C0330 con broca sacatestigos extrayendo una muestra de un testigo de roca grande

Protección acrílica transparente

Preparación de muestras

Trituración de la muestra / Verificación dimensional

PULIDO DE MUESTRAS

NORMAS
EN 12390-2, ASTM D4543

55-C0201/B
Máquina pulidora de muestras.
220-380 V, 50 Hz, trifásica

55-C0201/BZ
Igual que el anterior, a 220 V, 60 Hz, trifásica.

Descripción general y especificaciones

Se utiliza para desbastar y pulir muestras de hormigón, piedras naturales, materiales cerámicos, muestras de roca, etc.
Las muestras cilíndricas y cúbicas y los testigos se bloquean fácilmente en la mesa y el cabezal de pulido de 330 mm de diámetro puede moverse en sentido radial, manual o automáticamente en ambas direcciones. La máquina se suministra con protección contra esquirlas, depósito de refrigeración, bomba de motor, un juego de segmentos abrasivos y manual de instrucciones. Previa solicitud, podemos suministrar segmentos abrasivos diamantados (ver accesorios). La máquina se suministra con elemento de sujeción para cubos de 100, 150 y 200 mm. Se pueden solicitar también dispositivos de sujeción para cilindros (ver accesorios).
El dispositivo de sujeción para la preparación de la superficie del testigo 45-D0534/B se puede acoplar fácilmente mediante el elemento de anclaje incluido.

Especificaciones generales

Dimensiones de la mesa: 775x280 mm
Diámetro de la muela abrasiva: 330 mm
Luz vertical máxima: 350 mm
Luz vertical mínima: 145 mm
Tamaño máximo de la muestra: Cubos de 200 x 200 mm de Ø. Cilindros de 160 x 320 mm.
Velocidad de la muela abrasiva: 1400 r.p.m
Avance transversal automático en ambas direcciones
Cubierta de seguridad con interruptor de bloqueo de puerta
Potencia del motor del eje de la muela abrasiva: 1,900 W
Motor de alimentación: 110 W
Motor de la pulpa: 100 W
Potencia total: 2200 W
Dimensión total: 1200x1020x1640 (largo x ancho x alto)
Peso aproximado: 350 kg
Peso aproximado con embalaje: 415 kg



55-C0201/B

Accesorios y piezas de recambio

- **55-C0201/B1** Juego de 10 segmentos abrasivos de recambio
- **55-C0201/B2** Juego de 10 segmentos abrasivos diamantodos
- **55-C0201/B3** Accesorio para conectar un aspirador. La aspiración no está incluida.
- **55-C0201/B4** Dispositivo de sujeción para cilindros de 100 a 160 mm de Ø.
- **55-C0201/B5** Dispositivo de sujeción para cilindros de 50 x 100 mm de diámetro

45-D0534/B
Dispositivo de sujeción para la preparación de la superficie del testigo

Descripción general y especificaciones

Para la preparación de superficies de testigos planas y paralelas utilizando pulidoras de superficies horizontales (ej., 55-C201/B). Consta de un dispositivo de inmovilización para cuatro unidades capaz de sujetar testigos de 20 a 55 mm de diámetro. Puede montarse en la mayoría de las pulidoras con o sin plato magnético de sujeción.
Peso aproximado: 6 kg


45-D0534/B

VERIFICACIÓN DIMENSIONAL DE LA MUESTRA

NORMAS
ASTM D4543, método recomendado ISRM Método

45-D0539
Aparato de verificación de muestras de rocas


45-D0539 con reloj 82-D1250 adicional

Descripción general y especificaciones

Para verificar las tolerancias dimensionales y geométricas de testigos de roca de hasta 50 mm de diámetro por 100 mm de longitud. La rectitud de la superficie cilíndrica puede verificarse fácilmente mediante el reloj comparador superior y la planicidad y la verticalidad de las superficies de los extremos mediante el mismo reloj comparador acoplado al soporte articulado.
El aparato incluye un soporte de base con columna y sujeción de reloj comparador que pueden ajustarse verticalmente con exactitud, un reloj comparador de precisión de 5 x 0,001 mm, un bloque en "V", un soporte de reloj comparador articulado magnético y un juego de imanes circulares.

Dimensiones de la base de soporte 135x170x250 mm
Altura de la columna: 200 mm
Dimensiones del bloque en "V": 45x45x100 mm
Reloj comparador: 5x0.001 mm
Peso aproximado: 8 kg

Accesorios y piezas de recambio

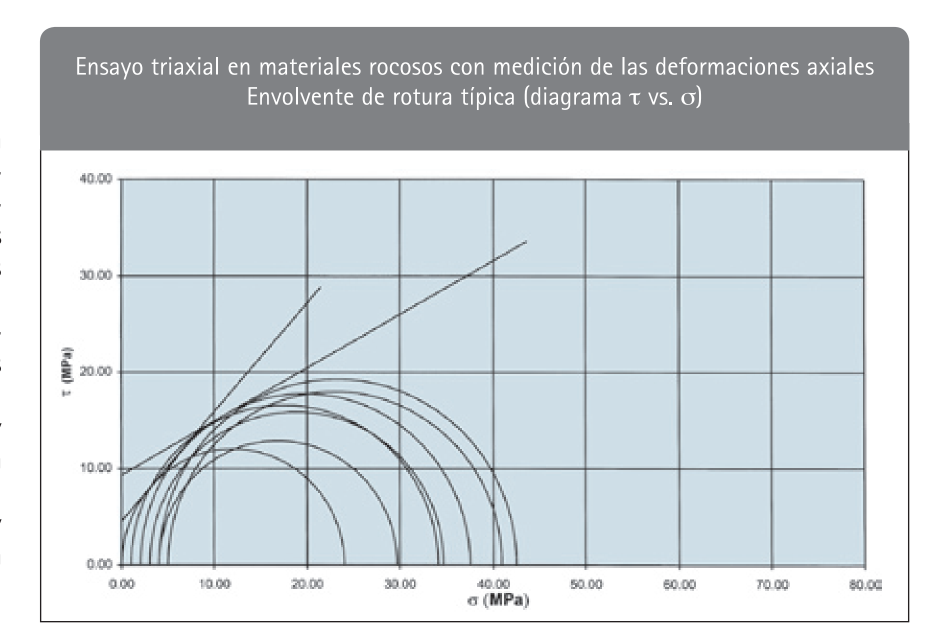
- **82-D1250** Reloj comparador de 5 x 0,001 mm

Ensayos de resistencia y deformabilidad

Ensayo uniaxial y triaxial

Ensayos de resistencia y deformabilidad

La mayor parte de la información obtenida en los ensayos de laboratorio está relacionada fundamentalmente con las características de tensión y deformación de los materiales probados.
Los ensayos que se ejecutan generalmente en muestras cilíndricas de rocas son los siguientes:
- Evaluación de la deformación y la resistencia a la compresión en condiciones uniaxiales
- Evaluación de la deformación y la resistencia a la compresión en condiciones triaxiales



Ensayo triaxial en materiales rocosos con medición de las deformaciones axiales
Envolvente de rotura típica (diagrama τ vs. σ)

ENSAYO UNIAXIAL

NORMAS
ASTM D3148, D2938
ISRM: Métodos sugeridos para determinar la resistencia a la compresión y la deformabilidad uniaxial de materiales rocosos

El ensayo uniaxial se lleva a cabo aplicando una carga creciente a velocidad de tensión constante entre 0,5 y 1,0 MPa/s. Los valores de deformación axial y radial se miden con gran precisión (alrededor de 5 x 10-6). A continuación se ejecutan también ciclos de carga y descarga para obtener una evaluación correcta de las propiedades de compresibilidad.

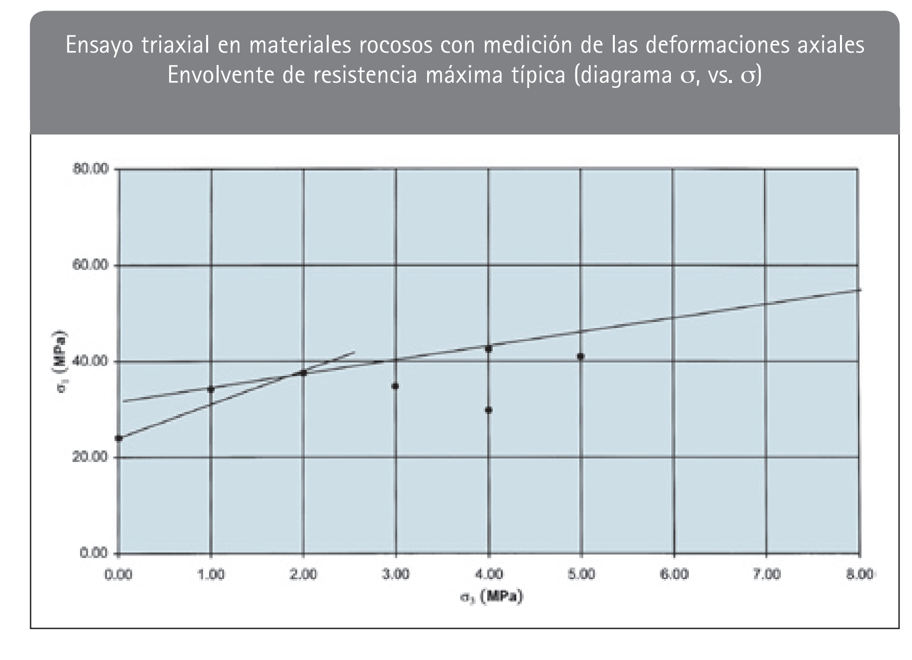
ENSAYO TRIAXIAL

NORMAS
ASTM D2664, D5407
ISRM: Métodos sugeridos para determinar la resistencia de los materiales rocosos en compresión triaxial

El ensayo triaxial se ejecuta en muestras de rocas contenidas en una membrana de goma que se colocan dentro de una célula triaxial y se someten a una presión isotrópica (normalmente entre 5 y 60 MPa) que se mantiene constante para todo el ensayo. A continuación se aplica una carga axial. Los ensayos y mediciones se realizan de la misma forma que en los ensayos uniaxiales.

A partir de las mediciones registradas durante el ensayo, se obtiene la siguiente información:
- Velocidad de tensión en función de la deformación axial y radial
- Tensión máxima de rotura
- Módulo de Young tangente y secante medido en la curva de tensión-deformación axial
- Proporción entre la deformación radial y la deformación axial para obtener el coeficiente de Poisson
- Tensión máxima respecto a la presión de la célula (en los ensayos triaxiales) para definir la envolvente de rotura y las propiedades correspondientes (cohesión y fricción).

Otro importante parámetro investigado en los ensayos triaxiales son las características de permeabilidad de las rocas y el comportamiento de la roca cuando se ve sometida a una presión de agua elevada, especialmente para el estudio de cimentaciones de presas, y normalmente para túneles y cavidades subterráneas..



Ensayo triaxial en materiales rocosos con medición de las deformaciones axiales
Envolvente de resistencia máxima típica (diagrama σ, vs. σ)

Sistemas automáticos de ensayo

Determinación del módulo elástico y características de resistencia de muestras de roca en condiciones uniaxiales y triaxiales



Bastidor 50-C5902/FR con célula Hoek, 50-C9842 ADVANTEST 9, 45-C7022/S SERCOMP 7 y armario D2999 PC

Características principales del sistema completo

- Ensayos de compresión uniaxiales y triaxiales automáticos
- Sistema de control de bucle cerrado PID
- Control de hasta 4 bastidores hidráulicos diferentes
- Ejecución de ensayos con control de:
- Carga/tensión
- Desplazamiento
- Deformación
- Fácil acceso a los gráficos y supervisión numérica en tiempo real de todas las mediciones: desplazamiento y carga axial, presión de la célula, deformación axial y horizontal
- Control automático de la presión de la célula en ensayos triaxiales
- Especialmente adecuado para la investigación del comportamiento de las rocas después de la rotura (ensayos de desplazamiento controlado)
- Variación de la configuración en tiempo real, incluido el método de control (carga, desplazamiento o deformación

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO ELÁSTICO Y CARACTERÍSTICAS DE RESISTENCIA DE MUESTRAS DE ROCA EN CONDICIONES UNIAXIALES Y TRIAXIALES

NORMAS
ASTM D2664, D2938, D3148, D5407, ISRM
Método recomendado **EN 14580, EN 1926**

Introducción

Los sistemas automáticos de ensayos mecánicos de rocas de Controls están diseñados para ensayar diferentes materiales, desde arena blanda hasta muestras basálticas de gran resistencia. El sistema de ensayo completo está compuesto por los siguientes elementos:

- Consola de control servohidráulico para aplicación de carga conforme a las normas de aplicación (ver ADVANTEST código 50-C9842
- Bastidor de ensayos de gran rigidez, que se seleccionará según el tamaño de la muestra y la resistencia prevista (ver bastidores de carga modelos 50-C4600/FR a 50-C6600/FR, en la página 238)
- Consola de control servohidráulico para el control de la presión lateral (ver SERCOMP 7 código 45-C7022/S). Esta unidad, basada en el modelo estándar SERCOMP 7 código 50-C7022, ha sido especialmente diseñada para ensayos en rocas (únicamente ensayos triaxiales)
- Célula triaxial de Hoek, que se seleccionará según el tamaño de la muestra (únicamente ensayos triaxiales)
- Medidores de deformación y accesorios
- Software de ensayo

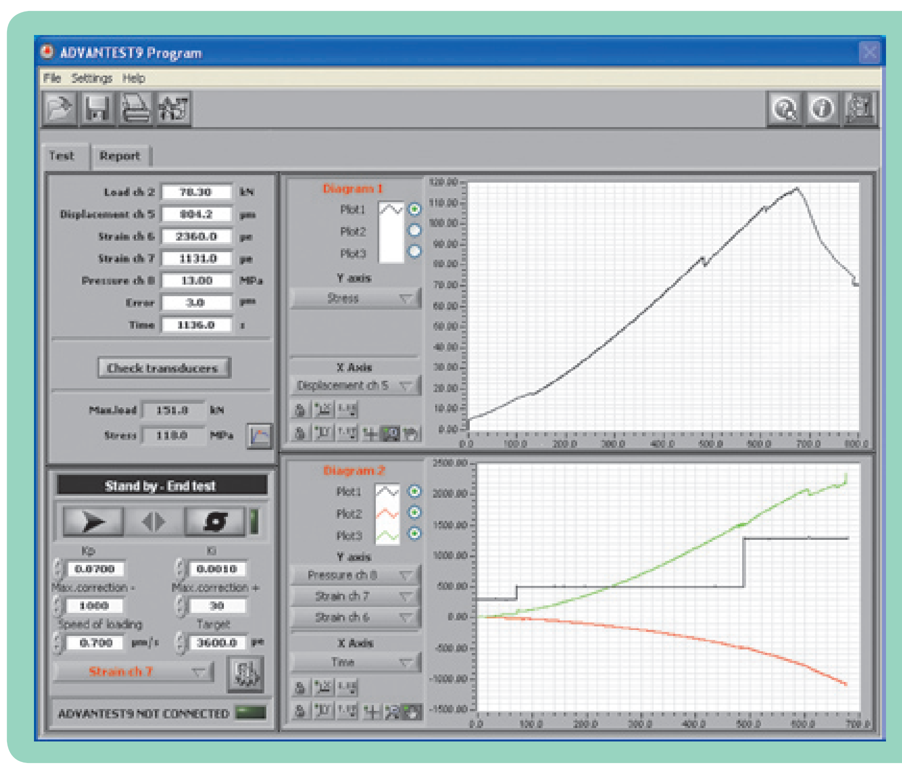
Principio de funcionamiento

Según las normas de referencia, durante el ensayo se aplicará la carga de compresión sobre la muestra de roca de forma continua, sin choque, de tal forma que produzca una velocidad de deformación lo más constante posible, para que la rotura se produzca entre los 5 y 10 minutos de carga o alternativamente, a velocidad de tensión constante, dentro de los límites de 0,5 – 1,0 Mpa/s. Además, en los ensayos triaxiales, la presión de confinamiento deberá mantenerse constante con una tolerancia de ±1 %. Nuestro nuevo sistema ha sido diseñado para cumplir totalmente estas estrictas especificaciones de los procedimientos de ensayo. El accionamiento del ADVANTEST 9 se lleva a cabo mediante un sofisticado servocontrol microprocesado y se pueden ejecutar ensayos tanto uniaxiales como triaxiales a velocidades de tensión, desplazamiento o deformación muy estables. El SERCOMP 7 ejecuta el control automático y la gestión de la presión de la célula dentro de los límites establecidos por las normas. Las mediciones de deformación se llevan a cabo mediante medidores de deformación aplicados directamente a la muestra, tanto en dirección axial como radial, por lo que el coeficiente de Poisson y los parámetros de compresibilidad se calculan con facilidad y precisión durante el ensayo.
También se supervisan la carga axial y la presión de la célula mediante células de carga y transductores de presión, con un alto nivel de sensibilidad y precisión.
Todos los datos de los ensayos se muestran gráficamente en tiempo real y se almacenan en archivos ASCII para su posterior análisis con los paquetes de software apropiados.

Note. La tabla de la página 195 contiene la relación completa de los elementos recomendados para la ejecución de ensayos triaxiales y uniaxiales. Véase la tabla en la página 195. test see Table on page 177.

Sistemas automáticos de ensayo

Determinación del módulo elástico y las características de resistencia de muestras de roca en condiciones uniaxiales y triaxiales (continuación)



Ensayo triaxial en testigos de roca con medición de la tensión vertical, extensiométrico circunferencial y presión de confinamiento.

Especificaciones generales de las consolas SERCOMP 7 y ADVANTEST 9
(Para ampliar detalles y especificaciones, consulte las páginas 241 y 247)

	Sercomp 7 45-C7022/S	Advantest 9 50-C9842
Puertos hidráulicos	2*	4*
Potencia, W	750	750
Presión máxima de funcionamiento (bar)	600	700
Ejecución de ensayos	sistema de control de bucle cerrado PID	sistema de control de bucle cerradoPID
Resolución	de hasta 1/65000	de hasta 1/262000
Especificaciones de corriente	230 V, 50-60 Hz, monofás. o 110 V, 60 Hz, monofás. (especificar)	230 V, 50-60 Hz, monofásica o 110 V, 60 Hz, monofásica (especificar)
Especificaciones totales	470x410x1000	470x410x1000 PC
Peso aproximado, kg	120	140 (incluye PC e impresora, que se suministran)

N O T A

**Las consolas SERCOMP 7 y ADVANTEST 9 pueden controlar respectivamente hasta 2 y hasta 4 bastidores de carga en ensayos de compresión o flexión de cemento y hormigón*



Detalle de muestra de roca con galgas extensométricas acopladas



ADVANTEST 9:

UN SISTEMA DE ENSAYO FLEXIBLE Y AVANZADO IDEAL PARA EJECUTAR ENSAYOS AUTOMÁTICOS ESTÁNDAR Y AVANZADOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Advantest 9:
Un sistema de ensayo flexible y avanzado ideal para ejecutar ensayos automáticos estándar y avanzados de materiales de construcción

- Sistema de control de bucle cerrado PID
- Control de hasta 4 bastidores hidráulicos diferentes
- Ejecución de ensayos con control de:
  - Carga/tensión
  - Desplazamiento
  - Deformación
- Para conectar a transductores de presión, células de carga, transductores de desplazamiento y deformación
- Especialmente indicados para ensayos de deformabilidad y ductilidad de:
  - Muestras de roca
  - Hormigón reforzado con fibra
  - Hormigón proyectado
  - Hormigón con revestimiento de fibra de polímero
- Gran flexibilidad: puede controlar bastidores hidráulicos de capacidades muy pequeñas hasta 5.000 kN
- Excelente relación Calidad-Rendimiento/Precio. El sistema se describe completamente en la página 247

Sistemas automáticos de ensayo

Determinación del módulo elástico y las características de resistencia de muestras de roca en condiciones uniaxiales y triaxiales (continuación) / Células de Hoek

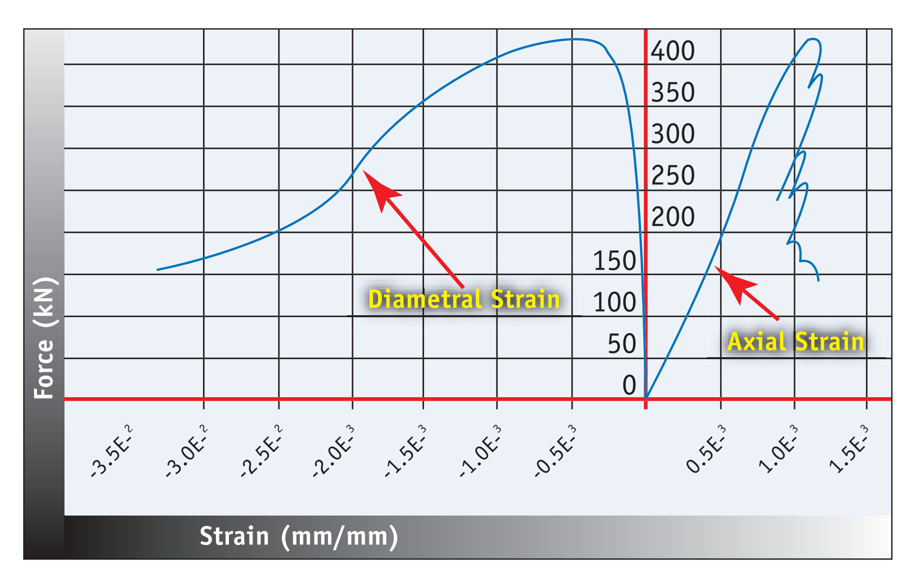
ENSAYOS UNIAXIALES Y TRIAXIALES: SOFTWARE DE ENSAYO

- Configuración de la rampa y los ciclos de carga/desplazamiento/deformación
- Diagramas en tiempo real de:
- Tensión, desplazamiento, deformación media o puntual con respecto al tiempo
- Tensión en función del desplazamiento
- Tensión en función de la deformación
- Visualización de diagramas múltiples.
- Visualización en tiempo real de los datos registrados:
- Carga y desplazamiento
- Presión de la célula (solo en ensayos triaxiales)
- Deformación axial o radial (medición de la deformación media o puntual).
- Sencillez de ejecución y control de la calibración
- Almacenamiento de los datos registrados en archivo ASCII
- Acceso directo durante el ensayo a la lista de los datos registrados desde el inicio
- Posibilidad de detener el ensayo, cambiar la configuración y continuar con los nuevos parámetros.

Procesamiento e impresión

Ofrecemos dos hojas de cálculo MS Excel que, mediante las lecturas de la unidad ADVANTEST 9, ejecutan:
- Ensayos uniaxiales
- Análisis de tensión-deformación
- Trazado del coeficiente de Poisson en función de la deformación
- Cálculo de módulos secante y tangente
- Ensayos triaxiales
- Análisis de tensión-deformación
- Trazado del coeficiente de Poisson en función de la deformación
- Análisis de la envolvente de rotura.

ENSAYO UNIAXIAL



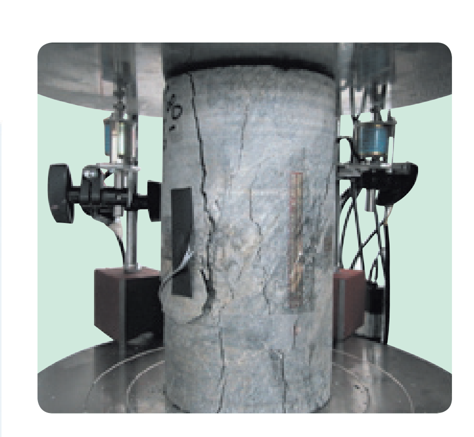
Ensayo uniaxial: el ensayo se ejecuta en un testigo de roca cilíndrico con sensores de deformación que miden la deformación vertical y diametral



Ensayo uniaxial: detalle de muestra de roca con galgas extensométricas acopladas 82-P0392

Ensayo uniaxial: ejemplo de impresión

ε_1 $\mu\varepsilon$	ε_3 $\mu\varepsilon$	P kN	$\sigma_1 - \sigma_3$ MPa	ν -
1729	74	219.30	95.05	0.043
1858	101	239.53	103.82	0.054
1967	122	246.65	106.90	0.062
1968	128	253.55	108.89	0.065
2109	156	261.13	113.18	0.074
2216	158	273.78	118.66	0.071
2345	194	291.48	126.33	0.083
[illegible]	225	302.97	131.31	0.091
	236	314.69	136.40	0.094
	[illegible]	316.30	137.09	0.099
		329.64	142.87	0.105
			148.25	0.110
			[illegible]	0.111
				0.116
				[illegible]18



Ensayo uniaxial en una muestra de roca cataclástica. Las grietas verticales son típicas después del valor máximo. Incluyendo 3 soportes de transductor 82-D1260, 3 transductores 82-P0331/C y dispositivo de medio eléctrico 82-P0331/2

Sistemas automáticos de ensayo

Determinación del módulo elástico y las características de resistencia de muestras de roca en condiciones uniaxiales y triaxiales (continuación)

ENSAYO TRIAXIAL

Se aumenta la presión lateral en etapas programadas y se determina la carga axial correspondiente. El ensayo consiste, básicamente, en variar continuamente el punto de rotura cambiando la presión lateral.

CÉLULAS DE HOEK PARA ENSAYOS TRIAXIALES

Descripción general y especificaciones

En distintos tamaños; cada una consta de los siguientes componentes:
- El cuerpo de la célula (1), con dos conexiones rápida autosellantes, para la presión de la célula, y para la salida del aire y la saturación de la célula respectivamente.
- Dos tapas (2), atornilladas al cuerpo cilíndrico de la célula.
- Tapas de carga superior (3) e inferior (4) con acoplamiento esférico
- Dos asientos esféricos hembra (5) conectados a las tapas de carga 3 y 4 para la transmisión correcta de la carga.
- Un manguito de goma (6) para separar la muestra del fluido de la célula

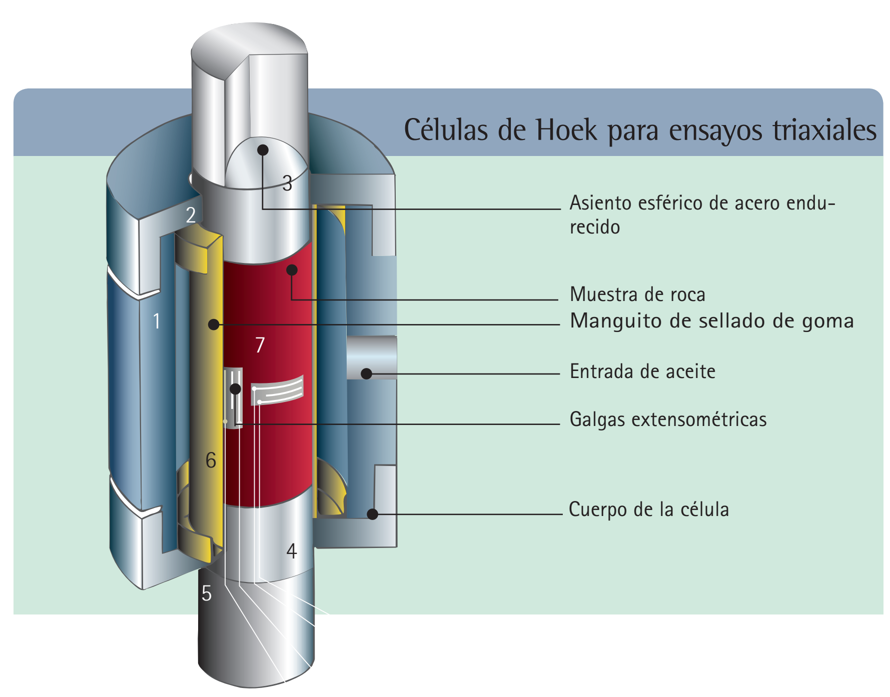
Aunque cada manguito puede utilizarse para varios ensayos, se recomienda solicitar 5 manguitos de recambio (ver accesorios).
Las mediciones de la deformación radial y axial se realizan mediante medidores electrónicos de la deformación (7), pegados directamente a la superficie lateral de la muestra. El cableado pasa por el interior del manguito de goma. Todos los medidores de deformación deberán conectarse a un dispositivo eléctrico adecuado (ver 82-P0070/1) para completar y equilibrar el puente de Wheatstone. Las mediciones de la deformación se pueden realizar mediante los sistemas automáticos de ensayo que se describen en la página 172 o con el sistema Datalog descrito en la página 178. La presión de la célula y la presión de saturación en los ensayos de permeabilidad se llevan a cabo con los equipos adecuados (ver página 181).

Accessorios

◤ **45-D0556/A (1)**
Par de distribuidores de carga para distribución uniforme de la carga

◤ **45-D0556/B (1)**
Plato distanciador para reducir el juego vertical de la máquina de compresión

◤ **45-D0556/H**
Soporte de las células de Hoek



Células de Hoek

◤ Código	D.C.D.M.A. referencia	Tamaño de la muestra (diámetro x altura, mm)	Peso (kg)	Altura total(1) mm
45-D0553	AX	30.10 x 60	2.50	213
45-D0554	1.5 in.	38.10 x 75	4.00	264
45-D0555	BX	42.04 x 85	6.50	263
45-D0556	NX	54.74 x 100	13.00	304

1) Suma de la muestra más las tapas de carga y los asientos esféricos


Células de Hoek para ensayos triaxiales

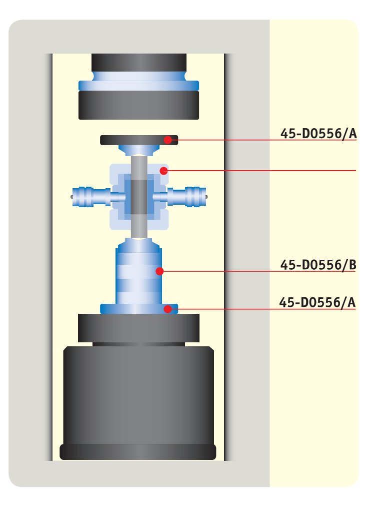
Manguitos de goma de recambio

◤ Código	D.C.D.M.A. referencia	Tamaño de la muestra (diámetro x altura, mm)
45-D0553/1	AX	30.10 x 60
45-D0554/1	1.5 in.	38.10 x 75
45-D0555/1	BX	42.04 x 85
45-D0556/1	NX	54.74 x 100


45-D0556/A, 45-D0556/B


45-D0556/H

(1) Para definir el número de componentes necesarios en función de las dimensiones de la célula de Hoek, consulte el esquema correspondiente.



Vista esquemática de la célula de Hoek con distribuidor de carga y platos distanciadores en la placa de compresión del bastidor de ensayo

Sistemas automáticos de ensayo

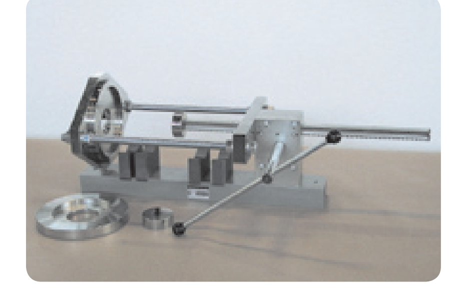
Determinación del módulo elástico y características de resistencia de muestras de roca en condiciones uniaxiales y triaxiales / Accesorios

ACCESORIOS PARA LAS CÉLULAS DE HOEK: EXTRACTOR DE MUESTRAS DE ROCA

45-D0577/A

Extractor de muestras
Se utiliza para extraer la muestra de roca del interior de la célula, evitando así vaciar el fluido de confinamiento. Consta de un bastidor de acero con un mecanismo de piñón y cremallera. Se suministra sin adaptadores, que deberán solicitarse por separado. Ver juego de adaptadores.

Peso aproximado : 11 kg


45-D0577/A

Juego de adaptadores para extractors

Comprende un adaptador de placa trasera, dos soportes para el cuerpo de la célula y la cabeza del eje.

Código del juego de adaptadores	Para muestras de tamaño	Para usar con la célula	Peso aproximado, (kg)
45-D0577/1	AX	45-D0553	1.7
45-D0577/2	3,81 cm	45-D0554	1.7
45-D0577/3	BX	45-D0555	1.5
45-D0577/4	NX	45-D0556	1.5

DISPOSITIVO DE COMPRESIÓN PARA ENSAYOS UNIAXIALES

45-C9034

Dispositivo de compresión para testigos de roca de 50 a 55 mm de diámetro y de 100 a 110 mm de altura

NORMAS
ASTM D2938

El aparato está compuesto por un bastidor de dos columnas equipado con una placa superior con asiento esférico que se desplaza en sentido vertical sujeta por un muelle. La placa inferior está acoplada a la base.



Dimensiones de la placa:
55 mm de diámetro, 28 mm de espesor
Dureza mínima de la placa: 58 HRC

Luz vertical: 112 mm
Altura total: 250 mm aprox.

Dimensiones totales:
145 mm de diámetro x 250 mm

Peso aproximado: 10 kg

45-C9098/D

Dispositivo de compresión con placas superior e inferior para testigos de roca de 100 mm de diámetro.

Este dispositivo está formado por una placa superior y una inferior de 105 mm de diámetro y 55 mm de espesor, con una dureza mínima de 58 HRC y un dispositivo de sujeción para acoplar la placa superior de las máquinas de compresión de la serie EN de 300 mm de diámetro. La placa inferior se puede centrar fácilmente en el pistón o en el distanciador adecuado, en lugar de la placa de compresión estándar de la máquina.

Peso aproximado : neto 5 kg


45-C9098/D

GALGAS EXTENSOMÉTRICAS DE PATRÓN LINEAL PARA ENSAYOS UNIAXIALES Y TRIAXIALES

Resistencia: 120 + 0,3 % ohmios
Temperatura de trabajo: de –20 a +80 °C

82-P0390
Galgas extensométricas de patrón lineal, 9,53 mm de largo

82-P0391
Galgas extensométricas de patrón lineal, 20 mm de largo

82-P0392
Galgas extensométricas de patrón lineal, 30 mm de largo

82-P0393
Galgas extensométricas de patrón lineal, 60 mm de largo

Accesorios

82-P0399/A
Kit de aplicación de galgas

82-P0398
Interfaz eléctrica para conectar hasta 4 galgas extensométricas a MCC8, ADVANTEST 9 y DATALOG.

82-P0390/1
Contactos para galgas 176 unidades.

82-P0070/3
Macro Excel para análisis de tensión-deformación y procesamiento de módulos elásticos en ensayos uniaxiales, impresión de datos y procesamiento de tensión-deformación con deformación axial, radial y volumétrica; Módulos secante y tangente frente a deformación axial; Deformación radial frente a deformación axial.

82-P0070/4
Macro Excel para análisis de tensión-deformación y envolvente de rotura en ensayos triaxiales, impresión de datos y procesamiento de los mismos datos de la Macro 82-P0070/3 además: Valores de resistencia en función de las presiones de confinamiento y envolvente de resistencia; Círculos de Mohr y envolvente de rotura..

Sistemas automáticos de ensayo

Determinación del módulo elástico y características de resistencia de muestras de roca en condiciones uniaxiales y triaxiales / Configuración de un sistema de ensayo completo

CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA ENSAYOS UNIAXIALES Y TRIAXIALES EN MUESTRAS DE ROCAS

Normas de referencia: Métodos recomendados ISRM; ASTM D2664, D2938, D3148, D5407

Código	Descripción	Cantidad uniaxiales	Cantidad triaxiales
UNIDAD DE CARGA AXIAL			
50-C9842	Consola de control servohidráulico para aplicación de carga ADVANTEST 9	1	1
86-D2999	Armario de PC (opcional)	1	1
50-C6600/FR	4.000 kN de capacidad Bastidor de compresión EN (otros modelos disponibles de 2.000 a 3.000 kN de capacidad. Consulte la página 238)	1	1
50-C0050/CAL	Calibración especial de la unidad digital de carga para conseguir Clase 1 a partir del 1 % la escala total de carga	1	1
50-C9086 (1)	Distanciador, diámetro 200 x 100 mm	3	1
50-C9080 (1)	Distanciador, diámetro 200 x 30 mm	1	1
50-C9082 (1)	Distanciador, diámetro 200 x 50 mm	2	1
UNIDAD DE PRESIÓN DE CONFINAMIENTO			
50-C7022/S	SERCOMP 7 – Consola de control automático para sistemas de presión constante en ensayos con carga triaxial	/	1
45-R0023	Conector de tres vías	/	1
82-P0354	Transductor de presión de 700 bar de capacidad	/	2
CÉLULAS DE HOEK (disponible en distintos tamaños, ver página 175). Aquí proponemos el modo NX.			
45-D0556	Célula de Hoek NX de 54,7 mm de diámetro.	/	1
45-D0556/A	Par placas de distribución de carga	/	1
45-D0556/B	Plato distanciador	/	1
45-D0556/1	Membrana de goma de recambio	/	5
45-D0577/A	Extractor de muestras de roca	/	1
45-D0577/4	Juego de adaptadores del extractor para muestras NX	/	1
LECTURA Y CONTROL DE LA DEFORMACIÓN (Seleccione las galgas extensométricas adecuadas de la lista de modelos siguiente)			
82-P0398	Dispositivo eléctrico para completar y compensar hasta cuatro puentes Wheatsonte con configuración VA o V2	1	1
82-P0399/A	Kit de aplicación de galgas extensométricas	1	1
82-P0390	Galga extensométrica; ancho de rejilla 4,53 x 9,53 mm. Paquete de 10	1	1
82-P0391	Galga extensométrica; ancho de rejilla 3 x 20 mm. Paquete de 10	1	1
82-P0392	Galga extensométrica; ancho de rejilla 2 x 30 mm. Paquete de 10	1	1
82-P0393	Galga extensométrica; ancho de rejilla 1 x 60 mm. Paquete de 10	1	/
82-P0070/3	Hoja de cálculo Excel para análisis de tensión-deformación y procesamiento de módulos elásticos en ensayos uniaxiales	1	/
82-P0070/4	Hoja de cálculo Excel para análisis de tensión-deformación y envolvente de rotura en ensayos triaxiales	/	1

NOTA

Si el ensayo uniaxial con muestras de alto rendimiento presentan un fallo explosivo, se recomienda el uso de unidades completas de distancia con ejes de centrado roscados, identificados con el sufijo / P. Ejemplo 50-C9086/P

ACCESORIO PARA PC

Armario de PC

86-D2999

Armario de PC para sistemas de ensayos.

230 V, 50 Hz, monofásico



Este armario de PC es un accesorio a medida para utilización en diversas aplicaciones de laboratorio en las que se requiere el uso de un ordenador como parte de los equipos de ensayo. Está diseñado para proteger a los ordenadores de la contaminación del aire, como el polvo de cemento. La filtración se lleva a cabo mediante dos filtros ventilados en el interior del armario. El monitor puede situarse en la parte superior del armario, que también dispone de tres estantes extraíbles para el teclado, la impresora y el ratón..

Dimensiones totales: 500x550x915 mm (largo x fondo x alto)

Peso aproximado: 55 kg



Detalle de muestra de roca con galgas extensométricas acopladas 82-P0392

Sistemas semiautomáticos de ensayo

Sistemas de presión lateral / Medición de la tensión y la deformación

SISTEMAS DE ENSAYO SEMIAUTOMÁTICOS

NORMAS
ASTM D2664, D2938, D3148, D5407
ISRM Sugg. Methods
EN 14580, EN 1926

Introducción

Introducción
Las características de los módulos Elastic y de resistencia de las muestras de roca en condiciones uniaxiales y triaxiales también se pueden determinar en el modo semiautomático, combinando una máquina de compresión semiautomática con un sistema de presión lateral manual y con todos los demás accesorios ya citados para el sistema automático.
El aparato básico debe incluir:
- Máquina de ensayos de compresión de capacidad suficiente (p. ej., nuestro modelo digital 50-C5632 de 3.000 kN) con transductor de presión adicional
- Sistema de presión lateral manual o automático (p.ej., nuestros modelos 45-D0588 ó 45-D7022/S Sercomp 7
- Dispositivo de medición de deformación de rocas mediante galgas extensométricas eléctricas (p.ej. 82-P0908/B Datalog con accesorios, transductor de presión, galgas extensométricas eléctricas, etc.)
- Célula de Hoek con platos distanciadores y distribuidores de carga (p.ej. 45-D0553, 45-D0556/A, 45-D0556/B, etc.)

El ensayo uniaxial según las normas ASTM D3148 y D2938 se ejecuta sin sistema de presión lateral. Todos los elementos necesarios se muestran en detalle en la tabla de la página 179

SISTEMAS MANUALES DE PRESIÓN LATERAL

45-D0558

Mantenedor de presión manual de baja fricción para la presión lateral de las células triaxiales de Hoek

Se utiliza para mantener constante la presión lateral deseada en las células triaxiales de Hoek. La unidad incluye una bomba manual conectada a un depósito especial de aceite, un manómetro de precisión, un mantenedor de presión y una manguera flexible de 3 metros de longitud con conector de suelta rápida en ángulo de 90º.

Presión máxima de trabajo: 70 MPa
Peso aproximado: 15 kg



50-C4622 con 82-P0908/B, célula Hoek 45-D0558 y accesorios para ensayo triaxial

MEDICIÓN Y REGISTRO DE LA TENSIÓN Y LA DEFORMACIÓN

82-P0908/B

Unidad de adquisición automática de datos y acondicionamiento de 8 canales.
110-230 V, 50-60 Hz, monofásico.

Este sistema se utiliza para medir las características de tensión y deformación de muestras de rocas. En la configuración estándar, 6 canales están dedicados a las mediciones de la deformación con medidores de deformación y 2 canales a las mediciones de carga/presión con transductores. Se suministra con cable de comunicación para puerto serie RS 232.
.



82-P0908/B

Sistemas semiautomáticos de ensayo

Módulo elástico y características de resistencia de muestras de roca en condiciones uniaxiales y triaxiales Configuración de un ensayo completo

Descripción general y especificaciones

Hardware
Número de canales: 8
Salidas de sensores:
- Vex 2V CC (común a todos los canales)
- compatible con puentes completos Wheatstone (4/4). Para su uso con puentes Wheatsonte de 1/4 y 1/2, ver accesorio 82-P0398

Entradas de sensores:
- 0-20.000 microV
- impedancia de los sensores de 100 ohmios a 10 kOhmios

Resolución real: 32000 divisiones
Velocidad de muestreo:
Ajustable a hasta 3 muestras/seg por canal
Almacenamiento de datos
Interfaz de usuario: teclado de membrana y pantalla gráfica de 128 x 64 píxel
Puertos de comunicación: RS 232 para descarga de datos al PC con Controles DATA soft 82-P0908/ SOF, CONTROLES D-TERMINAL, Microsoft HYPERTERMINAL o equivalente o para impresora en serie 82-P0172.
Alimentación: 110-230 V, 50-60 Hz, monofásico
Dimensiones: 320x250x110 mm (largo x fondo x alto)
Peso: 2.5 kg aprox.

Microprograma incorporado
- Calibración digital de canales con modo lineal y polinómico
- El almacenamiento de datos se puede activar a distancia con un mando externo
- Almacenamiento independiente de cada canal con memoria especial configurable como renovable
- Presentación y gestión sencillas de las lecturas almacenadas
- Se puede activar el umbral de la alarma para cada canal
- Función de fecha y hora
- Selección del idioma.

CONFIGURACIÓN TÍPICA DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO ESTÁNDAR PARA ENSAYOS UNIAXIALES Y TRIAXIALES EN MUESTRAS DE ROCAS

Normas de referencia: ASTM D2664, D2938, D3148, D5407
Métodos recomendados ISRM

Código	Description	Cantida des uniaxial	Cantida des triaxiales
Unidad de carga axial y bastidor de ensayo			
50-C5632	Máquina para ensayos de compresión semiautomática de 3.000 kN de capacidad. Sistema de adquisición y procesamiento de datos de canal dual Digimax 3	1	1
50-C0050/CAL	Calibración especial de la unidad digital de carga para conseguir Clase 1 a partir del 1 % la escala total de carga	1	1
50-C9080	Distanciador, diámetro 200x30 mm	1	1
50-C9082	Distanciador, diámetro 200x50 mm	1	1
Presión de confinamiento			
45-D0558	Mantenedor de presión manual de baja fricción para presión lateral	/	1
45-R0023	Conector de tres vías	/	2
82-P0354	Transductor de presión de 700 bar de capacidad	/	2
Células de Hoek (disponible en distintos tamaños, ver página 175. Aquí proponemos el modelo NX)			
45-D0556	Célula de Hoek NX de 54,7 mm de diámetro	/	1
45-D0556/A	Par placas de distribución de carga	/	1
45-D0556/B	Plato distanciador	/	1
45-D0556/1	Membrana de goma de recambio	/	5
45-D0577/A	Extractor de muestras de roca	/	1
45-D0557/4	Juego de adaptadores del extractor para muestras NX. , (Para otros tamaños seleccionar el adaptador adecuado. Consulte la página 176)	/	1
Lectura y control de la deformación (Seleccione las galgas extensométricas adecuadas de la lista de modelos siguiente)			
82-P0908/B	Unidad de adquisición automática de datos y acondicionamiento de 8 canales	1	1
82-P0398	Dispositivo eléctrico para completar y compensar hasta cuatro puentes Wheatsonte con configuración 1/4 o 1/2	1	1
82-P0399/A	Kit de aplicación de galgas extensométricas	1	1
82-P0390	Galga extensométrica; ancho de rejilla 4,53 x 9,53 mm. Paquete de 10	1	1
82-P0391	Galga extensométrica; ancho de rejilla 3 x 20 mm. Paquete de 10	1	1
82-P0392	Galga extensométrica; ancho de rejilla 2 x 30 mm. Paquete de 10	1	1
82-P0393	Galga extensométrica; ancho de rejilla 1 x 60 mm. Paquete de 10	1	/
82-P0070/3	Hoja de cálculo Excel para análisis de tensión-deformación y procesamiento de módulos elásticos en ensayos uniaxiales	1	/
82-P0070/4	Hoja de cálculo Excel para análisis de tensión-deformación y envolvente de rotura en ensayos triaxiales	/	1

Accesorios

82-P0908/SOF Software Datasoft y cable serie para conexión a PC

Pantalla de muestra de software para PC

Características principales:
- Presentación de las lecturas en la pantalla del ordenador, tanto en valores numéricos como en gráficos (ejes y escalas ajustables)
- Ejecución de funciones estadísticas de grupos de lecturas (valor mínimo, valor máximo, valor medio, desviación estándar)
- Almacenamiento de los archivos generados en las sesiones de medición
- Gestión de archivos de datos
- Compatible con los sistemas operativos MS Windows® 98/2000/ME/XP.

Ensayos de clasificación

Ensayo de tracción indirecta / Índice de resistencia al desgaste

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA EN TESTIGOS INTACTOS

NORMAS
ASTM D3967

Introducción

Este método de ensayo ha sido desarrollado para medir la tracción uniaxial de las muestras de roca mediante la compresión diametral de un disco. La resistencia a la tracción indirecta se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\sigma_t = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{P}{L \cdot D}$$

donde:
P fuerza de compresión máxima
L, D espesor y diámetro del disco de roca.

Las muestras de ensayo deberán ser discos con una relación espesor-diámetro (E/D) comprendida entre 0,2 y 0,75. El diámetro de la muestra deberá ser al menos 10 veces mayor que el grano más grande del mineral constituyente. Generalmente, un diámetro de 54 mm (NX) cumplirá el anterior criterio. Como accesorio del bastidor de compresión correspondiente, ofrecemos el dispositivo de compresión 50-C9032 Teniendo en cuenta que el valor medio de resistencia a la tracción indirecta de los diferentes tipos de roca oscila entre 3 y 14 MPa, se consideran adecuados los bastidores de 50 kN de capacidad máxima.
Una máquina de ensayos apropiada sería nuestro comprobador universal 70-T0108/E, de 50 kN de capacidad, que puede funcionar con control de carga o de desplazamiento.
Nuestro departamento de ventas está a su disposición para cualquier tipo de asistencia que pudiera necesitar.

50-C9032

Dispositivo de compresión/tracción indirecta para muestras de roca de 54 mm de diámetro
Este aparato puede utilizarse para medir la resistencia a la tracción indirecta en discos de roca de 54 mm de diámetro. Diámetro de placa, 75 mm.
Altura total 188 mm.

Peso aproximado: 8 kg



70-T0108/E equipado con un dispositivo 50-C9032 para ensayos de tracción indirecta en discos de roca

ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN: ÍNDICE DE RESISTENCIA AL DESGASTE

NORMAS
ASTM D4644

45-D0546

Aparato de resistencia al desgaste.
230 V, 50 Hz, monofásico

45-D0546/Z

Igual que la anterior, 110 V, 60 Hz, monofásica

45-D0546/Y

Igual que la anterior, 220 V, 60 monofásica.

45-D0546

Descripción general y especificaciones

Este método de ensayo ha sido desarrollado para evaluar el deterioro de las rocas sometidas a inmersión en agua durante un periodo de tiempo determinado. El aparato consta de una unidad de accionamiento de motor montada en una placa base que hace girar a dos o cuatro tambores a una velocidad de 20 rpm. Los tanques se llenan con agua hasta un nivel 20 mm por debajo del eje del tambor. Los tambores están fabricados en tela metálica de 2,00 mm, 140 mm de diámetro x 100 mm de longitud.

Peso aproximado: 15 kg

Accessorios

- **45-D0546/1** Par de tambores de tela metálica con conexiones y tanques

Permeabilidad de las rocas

Aparato de presión constante

PERMEABILIDAD DE LAS ROCAS . CABEZAL CONSTANTE

Introducción

Este ensayo se realiza para medir el flujo de agua a través de una muestra de roca introducida en una célula de Hoek y sometida a elevada presión de confinamiento. El gradiente hidráulico en el interior de la muestra de roca se obtiene mediante un aparato de presión constante. El agua que traspasa la muestra se recoge en una bureta. También se necesitan dos tapas para la célula de Hoek.



APARATO DE PRESIÓN CONSTANTE

■ 28-WF4312

Aparato de presión constante de aceite y agua para presiones de hasta 3.500 kPa. kPa. 230 V, 50 Hz, monofásico.

Descripción general y especificaciones

Este aparato proporciona una presión constante infinitamente variable y se utiliza junto con una célula de Hoek con tapas de permeabilidad para investigar la permeabilidad de las rocas sometidas a altas presiones de confinamiento en el laboratorio. El aparato se compone de los siguientes elementos: bomba hidráulica de motor; conjunto de pistón/muelle rectificado, manómetro de precisión para ensayos con escala de 0 a 3.500 kPa; célula cilíndrica de intercambio de aceite y agua; válvulas y 2 kg de aceite de gran viscosidad.

Rango de presión 0-3500 kPa

Dimensiones: 310x300x390 mm

Peso aproximado: 16 kg

Accessorios

◤ 28-WF4191
Manguera de conexión a la célula de Hoek

◤ 28-WF4302/1
Aceite de alta viscosidad. Contenedor de 5 l



28-WF4312 con célula de Hoek, tapas de permeabilidad, bureta, base y manguito de metal y vidrio

Configuración típica de un juego para ensayos de permeabilidad de las rocas

◤ Código	Descripción	Cant.
Permeabilidad de las rocas en el interior de células Hoek		
28-WF4312	Aparato de presión constante de aceite y agua para presiones de hasta 3.500 kPa. 230 V, 50 Hz, monofásico.	1
28-T0490	Tubo de nailon de 6 x 4 mm de diámetro. Rollo de 20 m	1
45-D0556 (1)	Célula de Hoek, tamaño NX	1
45-D0556/3 (1)	Tapas de permeabilidad para célula triaxial de Hoek NX modelo 45-D0556. Juego de dos unidades.	1
86-D1160 (1)	Bureta de vidrio graduada de 25 ml de capacidad con divisiones de 0,1 ml	1
86-D1445	Base de 200 x 130 mm completa con eje de 10 mm de diámetro x 500 mm de largo	1
86-D1451	Manguito doble de metal y vidrio	1
45-D0558 (2)	Mantenedor de presión constante de baja fricción o	1
45-C7022/S (2)	Consola de control automático para sistema de presión en la célula triaxial de Hoek. 230 V, 50 Hz, monofásico (alternativo al 45-D0558, recomendado para ensayos a largo plazo)	1

(1) U otros tamaños (2) Normalmente necesario y disponible para ensayos triaxiales (ver páginas 193 y 196)



45-D0558



45-C7022/S

TAPAS DE PERMEABILIDAD

◤ 45-D0553/3
Tapa de permeabilidad tamaño AX

◤ 45-D0554/3
Tapa de permeabilidad tamaño 1,5 pulgadas

◤ 45-D0555/3
Tapa de permeabilidad tamaño BX

◤ 45-D0556/3
Tapa de permeabilidad tamaño NX

BURETA DE VIDRIO Y ACCESORIOS

◤ 86-D1160
Bureta de vidrio graduada de 25 ml de capacidad con divisiones de 0,1 ml

◤ 86-D1445
Base de 200 x 130 mm

◤ 86-D1451
Manguito doble de metal y vidrio

CÉLULAS DE HOEK (VER PÁGINA 175)

Comportamiento de las juntas

COMPORTAMIENTO DE LAS JUNTAS

Otra importante sección de la mecánica de rocas es el estudio de la durabilidad y las discontinuidades en el interior de la masa rocosa, donde la resistencia al corte y la compresión son menores.
Se estudia en particular el comportamiento de las juntas: se originan a partir de fracturas geológicas, rompiendo la continuidad de la masa rocosa, en la que no se observan mecanismos de deslizamiento.
Desde el punto de vista de la mecánica de las rocas, las discontinuidades se caracterizan por una resistencia mecánica inferior a la de la masa rocosa original, y requieren investigaciones detalladas.

RESISTENCIA DE LAS PAREDES DE LA JUNTA

It is conventionally investigated with the Schmidt Hammer (L model). A series of 10 measurements is performed both on the joint walls and on a new failure surface. From the 10 values obtained the 5 lower are rejected and the compression strength is given by the average value of the last 5. This parameter is generally indicated as JCS (Joint Wall Compressive Strength), expressed in MPa.

RUGOSIDAD SUPERFICIAL DE LA JUNTA

El parámetro de rugosidad superficial de la junta se obtiene con el peine de Barton (rugosímetro 45-D0556), utilizado para reproducir el perfil de rugosidad. La línea obtenida se compara con una escala de perfiles de rugosidad, propuesta por Barton. Cada perfil lleva asignado un número de clasificación JRC que puede variar entre 0 y 20 (JRC = Coeficiente de Rugosidad de la Junta).

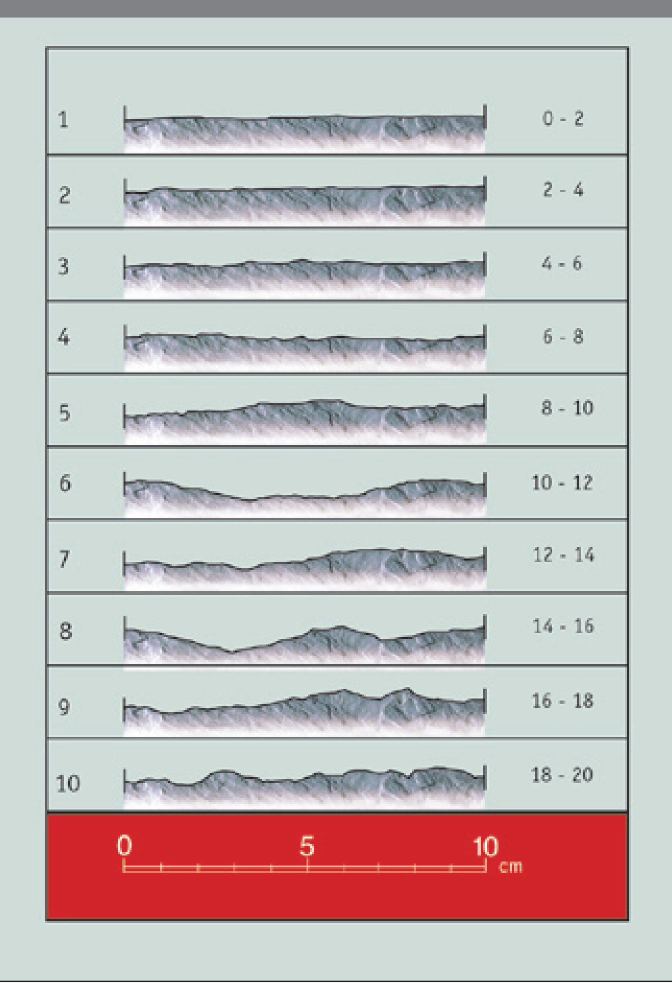
ENSAYO DE INCLINACIÓN

El ensayo de inclinación (modelo 45-B0096) constituye un método empírico para la evaluación inmediata del índice JRC. Básicamente, consiste en un plano horizontal en el que se colocan las dos partes de la muestra, situadas una sobre otra en la superficie de la junta. A continuación se inclina gradualmente el plano hasta que se observa el desplazamiento relativo de la parte superior de la muestra sobre la inferior.

El equipo está dotado de un borde inferior para evitar que la muestra inferior se deslice, y de un goniómetro. El ángulo de inclinación medido se relaciona con el índice JRC mediante la siguiente ecuación:



Perfiles tipicos de rugosidad



$$JRC = \frac{\alpha - \varphi_R}{\text{Log}\,(JCS/\sigma)}$$

φ_R ángulo de fricción de corte residual (obtenido en un ensayo de corte

σ presión normal en la superficie de la junta, generada por el peso de la parte superior de la muestra

JCS resistencia de la junta (medida con el Martillo de Schmidt)

RESISTENCIA AL CORTE DE LA JUNTA

Se obtiene a partir del ensayo de corte directo.
La resistencia máxima de una junta rugosa se calcula a partir de la siguiente fórmula (Barton, 1973):

$$\tau = \sigma \cdot \text{tg}\,(\varphi + i_{eff})$$

con

$$i_{eff} = JRC \cdot \log \frac{JCS}{\sigma}$$

Por tanto el ensayo de corte se realiza:
- en una junta lisa para obtener directamente el ángulo de fricción de corte φ
- en una junta rugosa para calcular φ a partir de JCS y JRC.

A partir de la expresión anterior, es interesante observar que cuando la tensión normal σ es igual a la JCS (resistencia a la compresión de la junta), i_{eff} es igual a 0. La explicación mecánica es que cuando las paredes de la junta se fracturan con la presión normal alta aplicada, la resistencia al corte de la roca depende sólo del ángulo de resistencia al corte j y no de la rugosidad superficial de la junta.
Para la medición de la resistencia al corte residual de la junta también se puede aplicar el ensayo de corte directo. La expresión matemática que representa el comportamiento de la resistencia residual es la envolvente de rotura lineal sin cohesión de Coulomb:

$$\tau = \sigma \cdot \text{tg}\,\varphi_R$$

Comportamiento de las juntas

Medición de la resistencia al corte
Medición de la rugosidad. Rugosímetros / Ensayo de inclinación

MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE

NORMAS: ASTM D5607 [(1)]
ISRM: Método sugerido para determinar la resistencia al corte (1974)

(1) Para ejecutar el ensayo de acuerdo con la norma ASTM se requieren cuatro relojes comparadores de desplazamiento vertical. Ver accesorio 45-D0548/10

■ 45-D0548

Aparato de caja de corte para roca. Funcionamiento manual

Descripción general y especificaciones

Este aparato fue desarrollado originalmente en el Imperial College de Londres, por el Profesor E. Hoek. Es un método sencillo y práctico para determinar la resistencia y la estabilidad en pendiente de las rocas, tanto en laboratorio como sobre el terreno. El aparato consiste en una caja de corte diseñada para alojar muestras de roca de dimensiones no superiores a 115 x 125 mm, o testigos de hasta 102 mm de diámetro. La caja de corte consta de dos mitades; la primera conectada a dos pistones para una acción de corte reversible, y la inferior conectada a un pistón para la aplicación normal de la carga. Las cargas se registran mediante manómetros de Bourdon. El sistema de carga normal se completa con un mantenedor de presión constante ajustable para absorber los cambios volumétricos de la muestra durante la acción de corte y para garantizar una carga vertical constante. El aparato se suministra con dos bombas y manómetros de 50 kN y dos moldes utilizados para la alineación correcta de la muestra antes del ensayo con cementación.

Escala de los manómetros: 50 kN x 1 kN
Dimensiones: s: 460x250x600 mm
Peso aproximado : 45 kg

Accessorios

◤ **45-D0548/9** Cemento aluminoso para la cementación de la muestra en la caja de corte. Bolsa de 50 kg

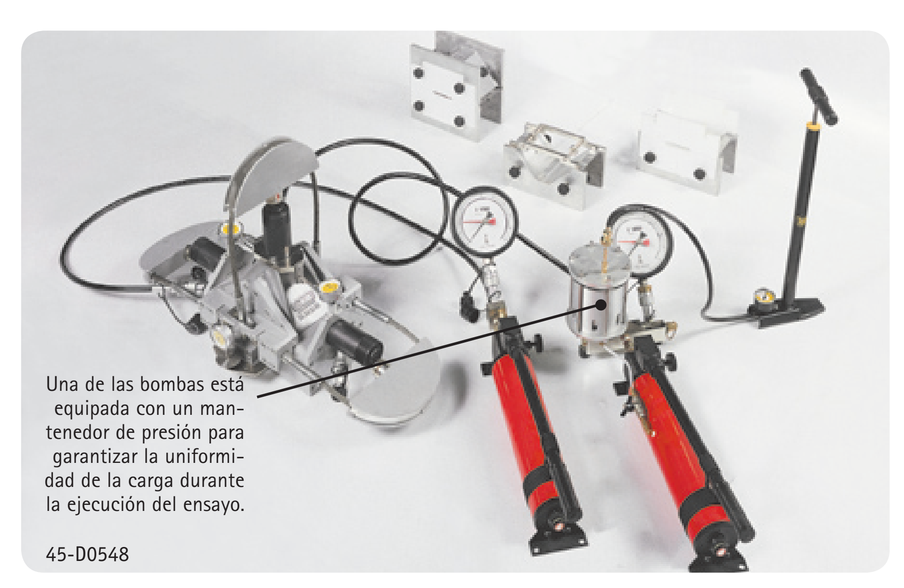
◤ **82-D1257** Reloj comparador de 30 mm de recorrido para el desplazamiento horizontal x 0,01 mm

◤ **45-D0548/10** Juego de 4 relojes comparadores de 10 x 0,002 mm con soportes de montaje

Piezas de recambio

◤ **45-D0548/8** Molder

◤ **45-D0548/1**
Manómetro, escala 0-50 kN x 1 kN



Una de las bombas está equipada con un mantenedor de presión para garantizar la uniformidad de la carga durante la ejecución del ensayo.

45-D0548



Detalle del aparato de caja de corte con el accesorio 45-D0548/10 para la ejecución del ensayo de conformidad con la norma ASTM D5607.

MEDICIÓN DE LA RUGOSIDAD. RUGOSÍMETROS

Utilizados para la medición del perfil de rugosidad en muestras de roca

■ 45-D0566

Rugosímetro (peine de Barton). 300 mm de longitud.

Peso aproximado: 1 kg

■ 45-D0566/A

Rugosímetro (peine de Barton). 150 mm de longitud.

Peso aproximado: 0.5 kg

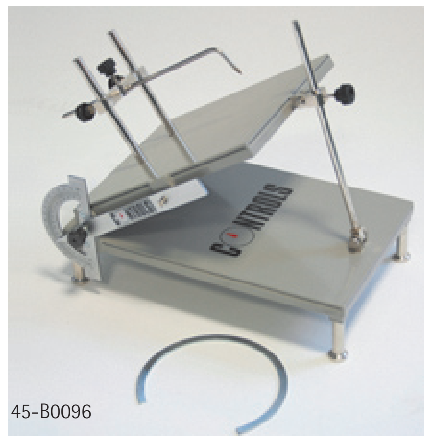


45-D0566

ENSAYO DE INCLINACIÓN

■ 45-B0096

Aparato para la medición del coeficiente de rugosidad de la junta (Ensayo de Inclinación)



45-B0096

Descripción general y especificaciones

Se utiliza para calcular la JCR de una roca o una junta. El equipo consta de un plano inclinado ajustable, sobre el que se coloca la muestra de roca (de 100 mm de diámetro máximo), separada a lo largo de la superficie en la que se medirá la rugosidad. A continuación se inclina lentamente el plano hasta que se produce el deslizamiento de la parte superior de la muestra sobre la inferior. El índice de rugosidad se calcula a partir del ángulo de inclinación medido

Ángulo de inclinación: 0-50°
Dimensiones totales: 265x170x260 mm
Peso aproximado: 4 kg

Ensayos de clasificación

Índice de carga puntual / Martillo para la clasificación de rocas

ÍNDICE DE CARGA PUNTUAL

NORMAS
ASTM D5731 - ISRM: método recomendado.

45-D0550/E

Aparato digital para mediciones de carga puntual de rocas (Prensa Franklin)

General description and specifications

El aparato está formado por un bastidor de carga de 60 kN de capacidad con un pistón de carga hidráulico accionado mediante una bomba manual. El bastidor puede ajustarse para ejecutar ensayos con muestras de hasta 102 mm de diámetro. Una regla montada en el bastidor permite la medición directa de la distancia D entre las placas cónicas antes y después del ensayo. La carga de compresión se mide mediante un transductor de presión con una avanzada unidad de visualización digital que garantiza la mayor precisión y resistencia a los golpes. La máquina, equipada con el accesorio 45-D0550/D5, puede utilizarse también para ejecutar ensayos de compresión en testigos de pequeñas dimensiones o muestras cilíndricas. El aparato se suministra dentro de una maleta de plástico fácil de transportar.

Escala de carga: 0-60 kN
Pantalla digital: 2x16 characters
Resolución: 32.000 puntos
Regulador de gradiente no incluido.
Carga medida en kN y en MPa
Conexión de puerto en serie para PC
Precisión: ± 1%
Dimens. de la maleta: 800x500x280 mm
Peso:15 kg aprox.

Accessorios

- 45-D0550/D5 Juego de placas superior e inferior de 52 mm de diámetro con asiento esférico para ensayos de compresión
- 45-D1717 Gafas de protección transparentes

Piezas de recambio

- 45-D0550/A7 Juego de placas cónicas endurecidas
- 45-D0550/A8 Juego de juntas para el cilindro y la bomba



45-D0550/E

- Ligero y portátil
- Tamaño de la muestra hasta 102 mm de diámetro
- Admite muestras de forma irregular
- Pantalla digital de alta resolución. Funcionamiento con baterías
- Resistente a los golpes
- Conexión de puerto en serie para PC

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NORMAS: ASTM D5873
ISRM: método recomendado.

45-D0561

Martillo para la clasificación de rocas (Martillo Schmidt – Modelo de baja energía de impacto)

Descripción general y especificaciones

Se utiliza para medir el índice de rebote en testigos y muestras de rocas. El aparato es sencillo, fácil de usar y similar al utilizado para realizar ensayos con hormigón. Sólo se diferencian en el nivel de energía del impacto: 0,74 Nm. Los testigos de roca se colocan horizontalmente y el índice de rebote se obtiene a partir de la media de varias mediciones realizadas perpendicularmente al eje longitudinal. La unidad se suministra con maleta de transporte

Dimensiones de la maleta:
78 mm dia. x 335 mm

Accessorios

45-D0562/A

Soporte para rocas ASTM

Modelo universal. Soporta todo tipo de testigos de roca estándar de tamaños comprendidos entre EX y NX (de 21,46 a 54,74 mm de diámetro) e incluso superiores. El aparato incluye una guía de martillo vertical acoplada a una placa de acero de masa mínima conforme a la norma ASTM D5873 y un bloque magnético en "V" que se acopla con facilidad a la placa de acero.

Dimensiones: 220 mm de diámetro x 420 mm de altura aproximadamente
Peso aproximado.: 27 kg

58-C0184

Yunque de calibración



NORMAS
EN 12504-2
ASTM C805, D5873

Se utiliza para calibrar el martillo de ensayos de hormigón (modelos 58-C0181/N) y el martillo de clasificación de rocas (modelo 45-D0561). Fabricado en acero de aleación especial; se suministra con certificado de conformidad de dureza. Es esencial para la verificación periódica del martillo de clasificación de rocas en el laboratorio

Dimensiones:
150 mm de diámetro x 230 mm de altura
Peso aproximado.: 16 kg



45-D0561
con 45-D0562/A